

WINDTURBINES IN ZEE

Deel IV

De buitengaatse plaatsing

Juli 1979

Rapport R en D 79299



INHOUDSOPGAVE

	<u>Pagina</u>
<u>1. INLEIDING</u>	1
<u>2. DE GEKOZEN CONSTRUCTIE</u>	2
2.1. De buismast	2
2.2. De vakwerkmast	7
2.3. Caisson onderwater	8
<u>3. BOUWFACILITEITEN</u>	14
3.1. Bouwfaciliteiten voor stalen delen	14
3.1.1. De stalen buismast	14
3.1.2. De vakwerkmast	15
3.1.3. Buis mast voor plaatsing op caisson onderwater	16
3.1.4. Vakwerkmast voor plaatsing op een caisson onderwater	16
3.2. Bouwfaciliteiten voor betondeel	17
<u>4. ZEEMONTAGE</u>	19
4.1. Zeemontage voor stalen buismasten	19
4.2. Zeemontage voor vakwerkmast	21
4.3. Het afzinken van caissons	22
<u>5. ENERGIETRANSPORT</u>	26
<u>6. WERKGELEGENHEIDSASPECTEN</u>	31

1. INLEIDING

In het kader van de tweede fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie wordt door Rijn-Schelde-Veroelme Machinefabrieken en Scheepswerven N.V. in samenwerking met Hydronamic B.V. een studie uitgevoerd naar de consequenties van de plaatsing van een groot aantal windturbines in zee.

De studie omvat de volgende taken:

- A. Plaatsingsmogelijkheden buitengaats
- B. Constructieve aspecten en een nadere selectie
- C. De buitengaatse plaatsing

Taak A is behandeld in rapport Deel II, Taak B in rapport Deel III en daarop aansluitend wordt in dit rapport behandeld: de buitengaatse plaatsing.

Hierbij wordt uitgegaan van de in Deel III beschouwde constructies. Voor deze constructies worden de bouw, transport en plaatsing bekeken en tevens wordt het onderhoudsaspect belicht.

2. DE GEKOZEN CONSTRUCTIE

Uit rapport deel III resteren enkele constructies, te weten:

1. De buismast ($\varnothing$ ca 4 meter, wanddikte 5 cm)
2. De vakwerkmast ($20 \times 20 \text{ m}^2$ vloeroppervlak)
3. Het caisson onderwater met daarop een buis- of vakwerkmast.

2.1. De buismast

Een buismast bestaat uit een aantal ronde ringen, die conisch of cilindrisch kunnen zijn. De diameter en de wanddikte van deze ringen worden gekozen afhankelijk van de grootte van het buigend moment ter plaatse.

Het verloop van het buigend moment is als weergegeven in figuur 1.

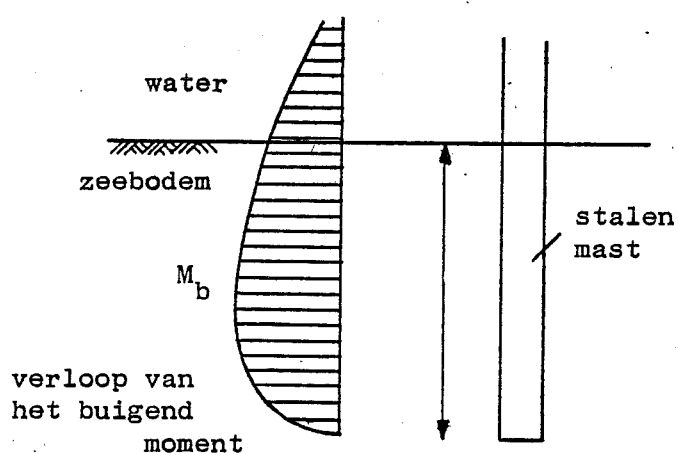
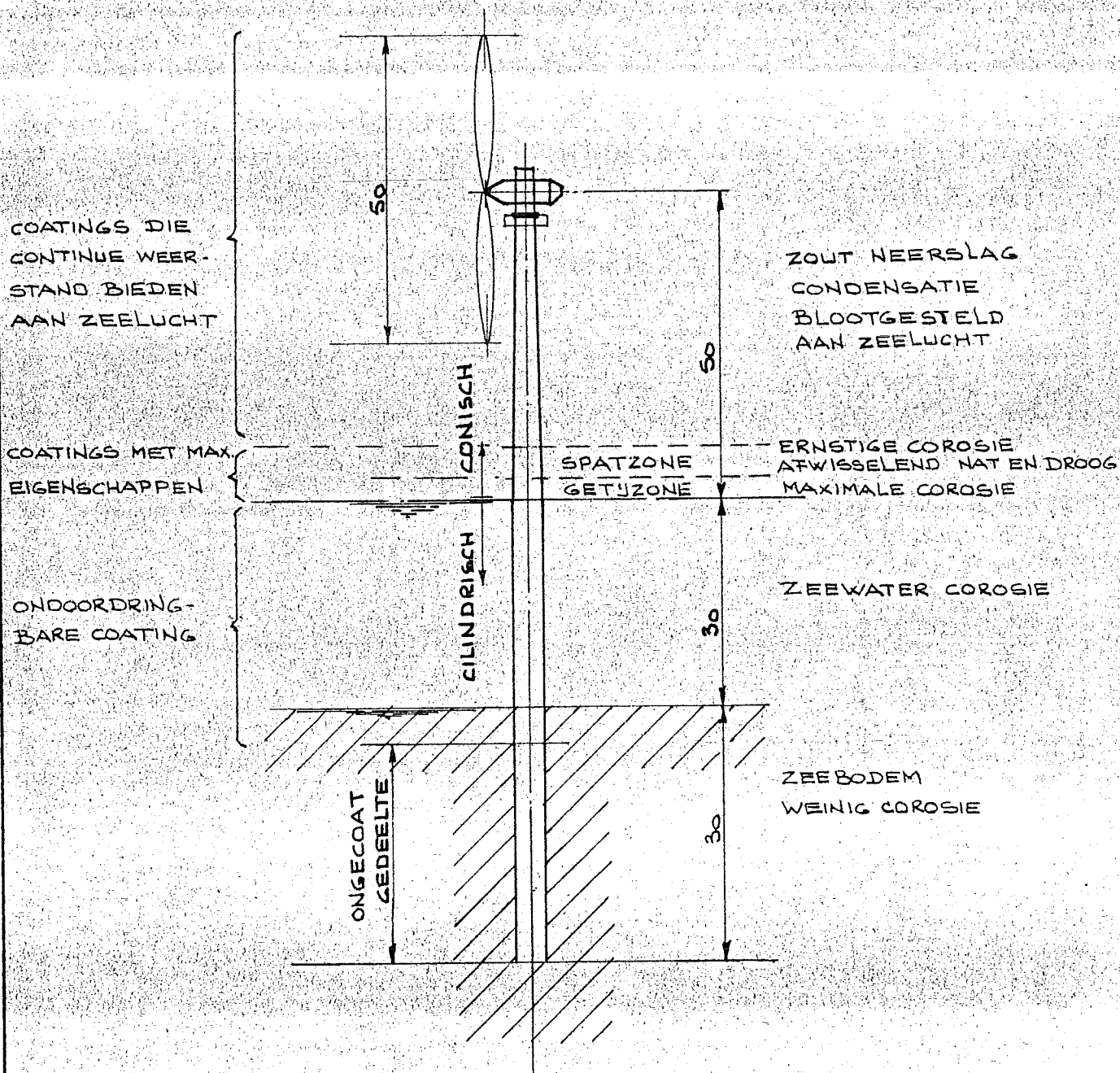


fig 1

Uit deze figuur blijkt dat het buigend moment naar boven toe afneemt. Een mogelijkheid is de buitendiameter over de gehele lengte van de mast constant te houden en alleen de wanddikte van de mast te variëren. Praktisch is dit niet. Beter geschikt lijken:

- a. Variëren van de mastdiameter, naar boven toe steeds kleiner. Dit kan o.a. door het tussenplaatsen van een conisch deel. De mast ziet er dan als volgt uit: cylinder, conus, cylinder. (fig. 3.A.)



hydronamic
stadraht holland

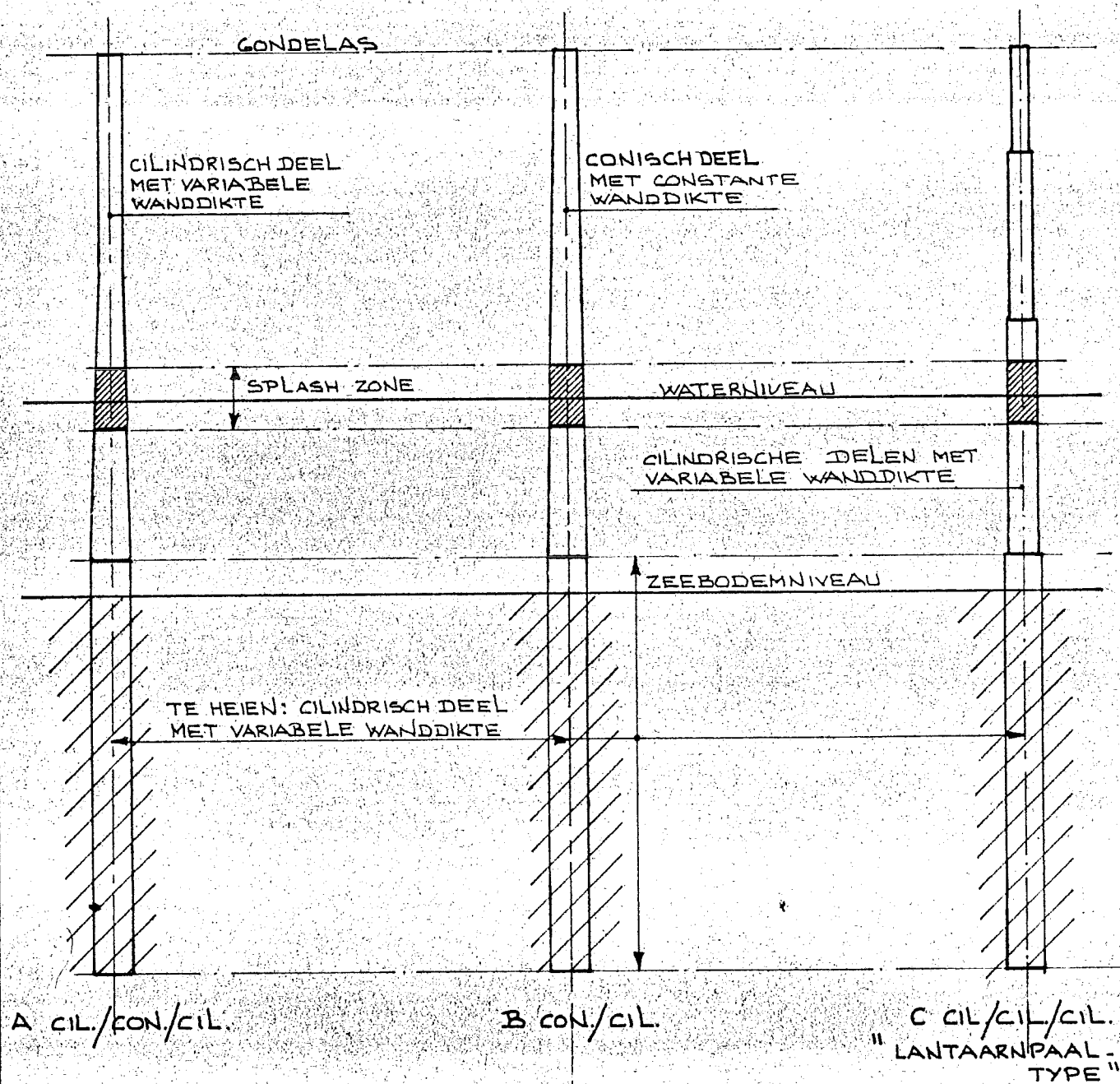
wind energie onderzoek

VERDELING VAN DE VERSCHILLENDE COATING-SOORTEN

datum:

schaal:

tek. no. 2



hydrodynamic
alledrecht · holland

wind energie onderzoek

MOGELIJKE UITVOERINGSVORMEN

datum:

schaal:

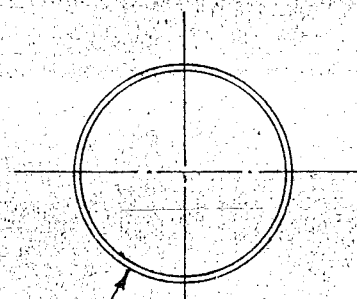
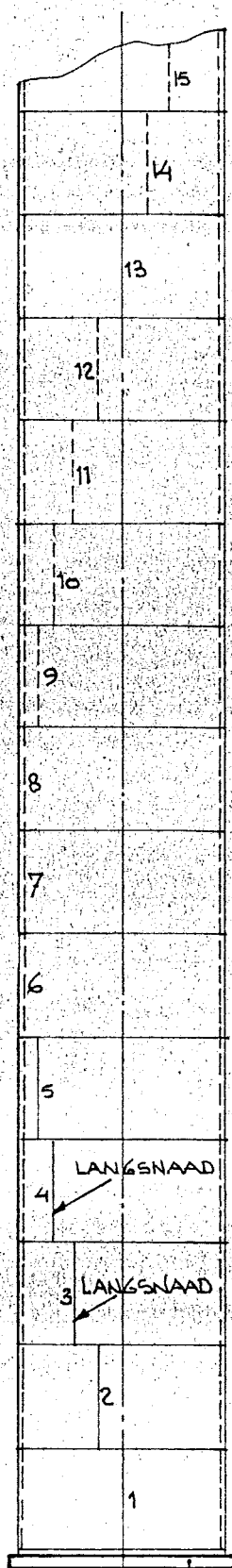
tek.no: 3

- b. Variëren van de mastdiameter, naar boven toe steeds kleiner.
Dit kan ook door als laatste deel een conus aan te brengen.
De mast bestaat dan uit: cylinder, conus. (fig. 3.B.).
- c. Variëren van de mastdiameter, naar boven toe steeds kleiner.
Door het op elkaar plaatsen van cylinders met een steeds kleinere diameter krijgen wij een mast die gekarakteriseerd kan worden als het lantaarnpaaltje (fig. 3.C.).

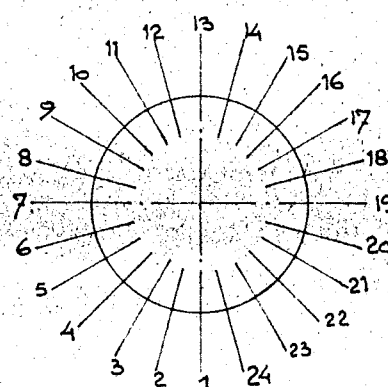
N.B. Het in de bodem te heiden gedeelte moet steeds cilindrisch zijn, daar anders grote moeilijkheden bij het heien zouden kunnen ontstaan.

Opbouw

De genoemde cilindrische en/of conische ringen kunnen worden gewalst uit rechthoekig plaatmateriaal met afmetingen ca. 12000 x 2000 x 50 mm³. De hoogte van de ring wordt dan 2000 mm (maximaal te verkrijgen plaatbreedte) en de diameter ongeveer 4000 mm (zie rapport deel III). Door het lassen van één langснаad worden uit de walsproducten cylinders of conussen gemaakt. Dit lassen kan met lasautomaten worden gedaan, hierbij staat de laskop stil boven de ring en beweegt de ring er axiaal onderdoor in de juiste snelheid (lassnelheid ca 600 cm³ lasmateriaal per mm). De afzonderlijke ringen kunnen via rondnaden aan elkaar worden gelast tot mastdelen van handteerbare lengten, bijv. 10 ringen lang = 20 meter. Ook dit lassen kan machinaal plaatsvinden door de laskop boven de cylinder (conus) te houden en het materiaal met de juiste snelheid eronder te laten draaien. Hierna kan automatisch gutsen volgen. Er moet wel voor worden gewaakt dat de langsnaden van de afzonderlijke delen niet in elkaars verlengde lopen, maar versprongen zoals aangegeven in figuur 4.



1 LAS OP DE OMTREK
IN RICHTING PUP



POSITIE V/D LANGSNADEN

VERLOOP LANGSNAAD VOOR LASSEN

DRAAIKRANGLAGER



wind energie onderzoek

OPBOUW VAN DE STALEN MAST

datum:

schaal:

tek. no: 4

De mastdelen zijn op de wal te transporteren op lorry's of rollerbanen. Transport over water kan met platte bakken (barges). Ook kunnen de mastdelen zelfdrijvend worden gemaakt door het inwendig aanbrengen van een aantal rubber- of kunststofluchtzakken per mastdeel. Zo kunnen tal van mastdelen in één keer versleept worden naar de bestemming.

Op de plaats van bestemming laat men enkele luchtzakken door middel van het openen van afsluiters, vollopen. Het mastdeel zal kantelen en een verticale positie innemen. Dit houdt in minder manoeuvreren met hijswerktuigen. Deze kleine prefab-mastdelen kunnen met een kraan met 'geringe' hijshoogte op een eerder aangebracht deel worden geplaatst en dan vastgemaakt.

Dit bevestigen kan of door flens/bout-verbindingen of door lasverbindingen. Het eerste bevestigingssysteem geniet duidelijk voorkeur boven het laatste, lassen op zee brengt nogal wat moeilijkheden mee. Tevens is nu demontage makkelijker te realiseren.

Nog een voordeel van het werken met handteerbare lengten treedt op bij het heien. Het is niet mogelijk om een mast van ruim honderd meter in volle lengte te hanteren en de zeebodem in te heien.

Daarvoor bestaan nog geen hijs- en heifaciliteiten op dit moment en zijn ook zeker niet nodig.

De werkwijze kan in het onderhavige geval zijn, zoals beschreven in hoofdstuk 3.1.1. met de daargenoemde prefab-lengten.

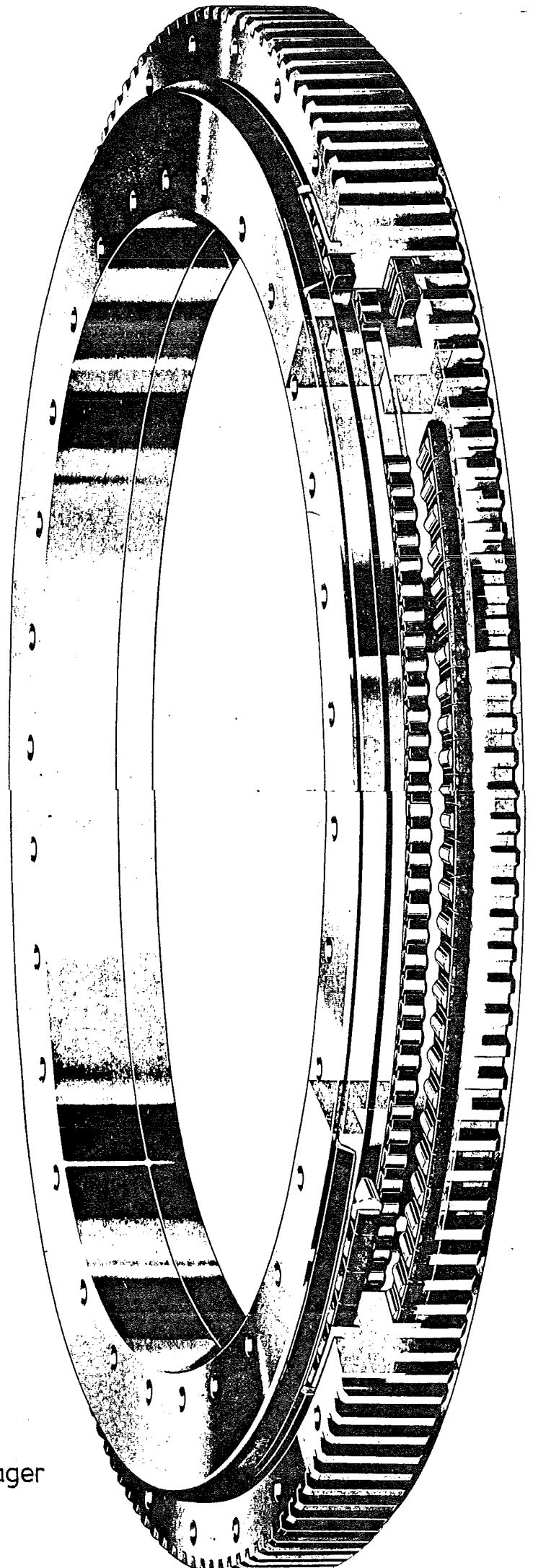
In de holle delen dienen ook prefab toegangsvoorzieningen te worden aangebracht om alle delen snel en makkelijk te kunnen bereiken, dit met betrekking tot montage, onderhoud, demontage.

Om het heien te vergemakkelijken, moet zo mogelijk in een vroeg bouwstadium de onderzijde van de onderste cylinder worden voorzien van een afgeschuinde rand, dit is dan een machinale bewerking tijdens de prefab-fase.

Naast de produktielijnen van mastlichamen moeten er ook produktielijnen komen voor het vervaardigen van gondels en wieken.

Dit behoeft niet uitdrukkelijk te gebeuren bij de bouwplaats maar kan net zo goed in bestaande (machine) fabrieken gebeuren, transport van deze delen kan makkelijk over de openbare weg.

Aangezien er in de vorige rapportdelen is gesteld dat de gondel en wieken continu moeten kunnen kruien, kan dit worden opgelost door het aanbrengen van een kruilager onder de gondel, waarvan één deel via zijn tandkrans kan worden geroteerd door een electromotor met rondsel. Voor dit lager kan men het beste een standaardhandelslager gebruiken van bijv. Rothe Erde. Zie hiervoor figuur op volgende bladzijde.



Artist impression van een kruillager

Mast in zeemilieu

De bescherming zou als volgt gerealiseerd kunnen worden.

De mast dient hiertoe in vier delen verdeeld te worden:

- a. deel in de bodem
- b. deel onderwater
- c. splash zone
- d. deel boven water

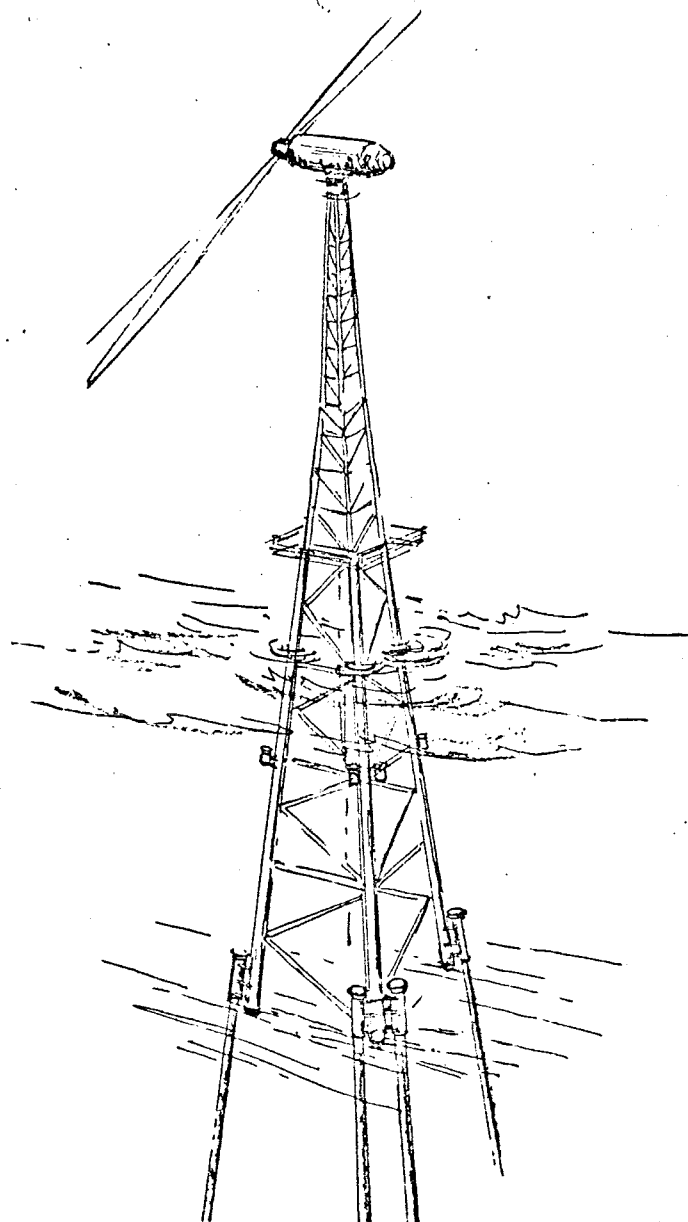
Zie figuur nr. 2.

De beste methode voor a. is te werken met een coating voor alleen het bovenste gedeelte in de zeebodem, het ondergedeelte behoeft niet te worden gecoat, hier vindt nauwelijks aantasting plaats en de coating zou tijdens het heien verdwijnen.

- b. is te werken met opofferingsanoden uit aluminium of zink (wel moeilijk te vervangen na 'verteren').
- c. is te werken met gecoate dubbelingsplaten.
- d. is te werken met thermisch verzinken en twee componenten harscoating.

Inspectie kan plaatsvinden elke 5 jaar, terwijl de maximale levensduur van de bescherming 15 à 20 jaar bedraagt.

Het aanbrengen van coating en anoden kan geheel in de prefab-fase gebeuren.



hydrodynamic
aerodynamisch ontwerp

wind energie onderzoek

datum

schaal

tek. no. 5

2.2. De vakwerkmast

Een vakwerkmast dient geprefabriceerd te worden in één of twee delen en als zodanig naar de plaats van bestemming te worden vervoerd.

De mast is opgebouwd uit profiel of pijpmateriaal.

Pijpmateriaal geniet de voorkeur boven profielen als hoekstalen, i.v.m. de conservering. De montage is wel iets moeilijker wat betreft de benodigde uitslagen.

Wanneer het te gebruiken materiaal op de juiste lengte wordt besteld, is de montage nog slechts een kwestie van richten en lassen. De opbouw uit enkele delen kan zijn nut hebben in verband met het transport en de handelbaarheid.

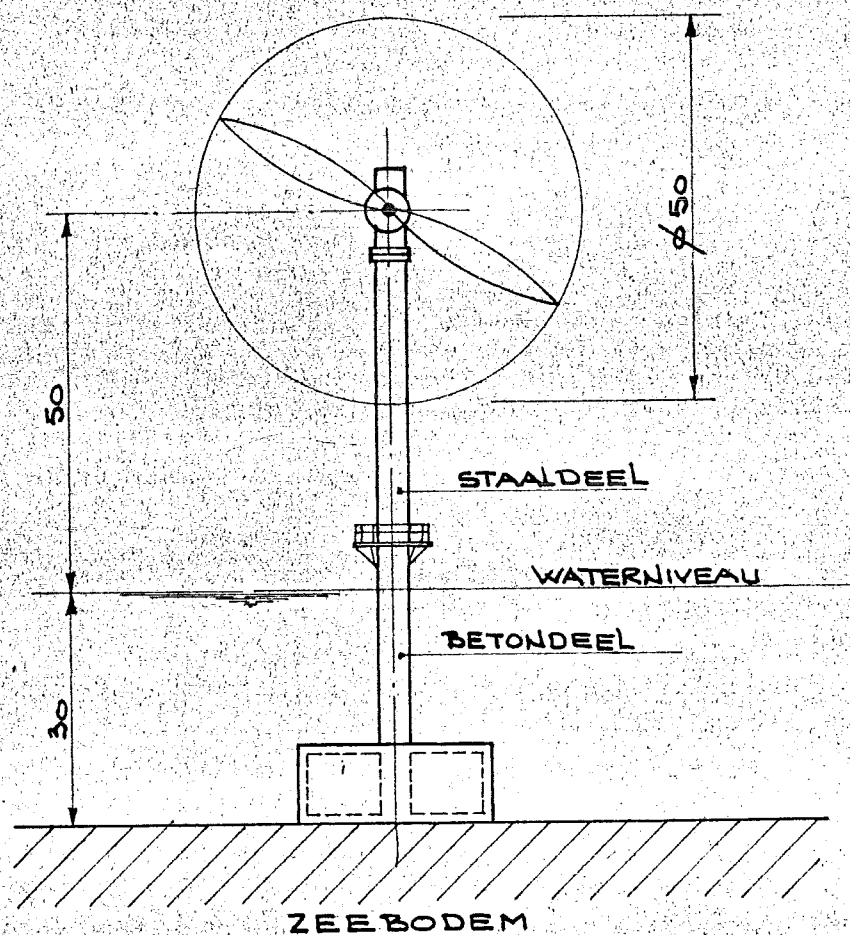
Het voordeel van een vakwerkmast t.o.v. de reeds besproken buismast is de kostprijs. De vakwerkmast is ca 40% goedkoper dan de buismast. Maar het onderhoud zal veel meer kosten en is erg moeilijk dan wel onmogelijk uit te voeren. Dit geldt zeker voor plaatsen die moeilijk bereikbaar zijn, zoals die waar naden voorkomen bij een knooppunt van staven.

De fabricage kan geheel in een lijnopstelling vlak voor vlak van de mast worden afgewerkt, zoals aangegeven in fig. 10.

Masten opgebouwd uit vakwerk kunnen zo op de van te voren geëffende zeebodem worden geplaatst. De verankering aan de bodem geschiedt door het heien van palen langs de mast, zie fig. 5, via aangebouwde ogen (al in prefab-fase aangebracht). Aangezien ook hier een mogelijkheid tot kruien moet zijn, blijkt het dat de mast boven met een bevestigingsflens moet worden uitgevoerd. Dit kan een gecompliceerde verbinding opleveren. Beter is dan ook alleen de top als buis uit te voeren, dit is ook makkelijk met de inbouw van de krui-aandrijving. Bij de vakwerkmasten zijn speciale voorzieningen nodig voor de bekabeling aangezien de kabels anders aan de zee-atmosfeer zijn blootgesteld. In de prefab-fase kunnen kabelgoten worden aangelegd in de mastdelen.

2.3. Caisson onderwater

De constructie bestaat uit een ronde, holle, betonnen doos met een diameter van ca 25 m en een hoogte van 10 m. Hierop aangebracht is een betonnen mast van ca 4 m diameter, die minimaal 7 m boven zeeniveau komt. Aan de top wordt een plateau aangebracht waaraan de stalen mast (buis- of vakwerkmast) kan worden bevestigd. Zie figuur nr. 6 en 7.



hydrodynamic
slidrecht holland

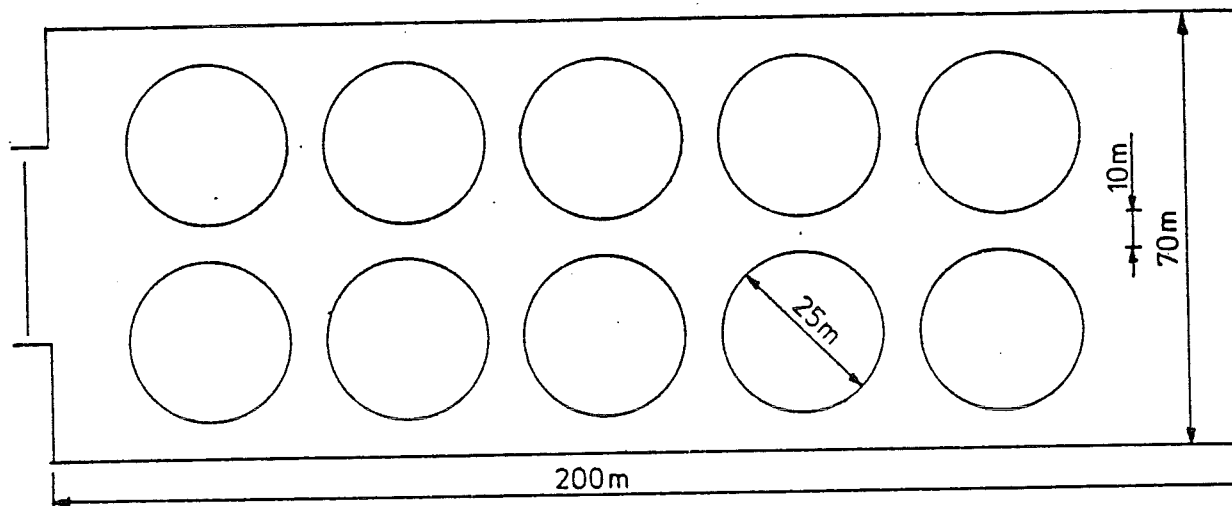
wind energie onderzoek

OVERZICHT ALTERNATIEF "CAISSON + STAAL MAST"

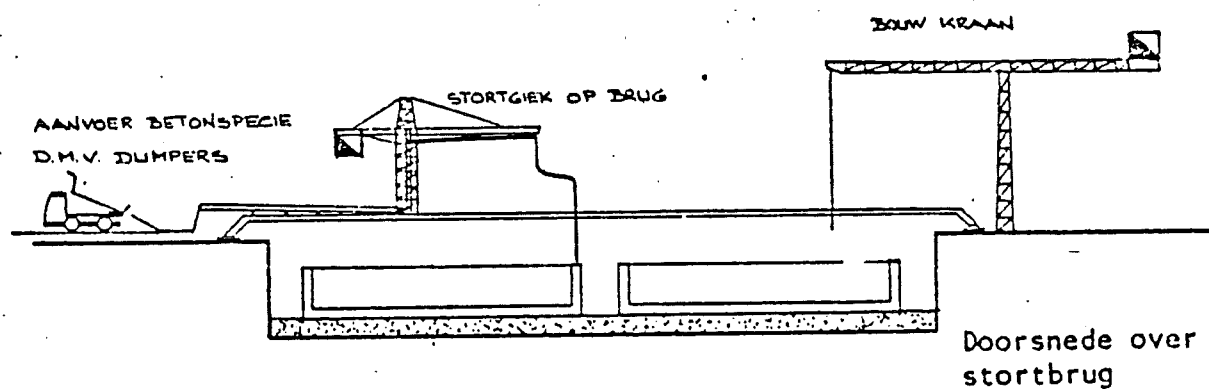
datum:

schaal:

tek. no: 6



Bovenaanzicht



wind energie onderzoek

BOUWDOK VOOR DE CAISSONS

datum:

schaal:

tek. nr: 41

Berekening van de toren

Diameter van de toren ϕ 4,00/ ϕ 4,50

$$W = \frac{\pi}{32} \left(\frac{4,5^4 - 4,0^4}{4,5} \right) = 3,4 \text{ m}^3$$

Moment op de overgang van toren naar caisson
(voor de herkomst van de krachten zie
deel III).

$$680 * 70 + 430 * 45 + 1150 * 11 = 79600 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W} = \frac{79600}{3,4} = 23,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Opp. betondoorsnede } \frac{\pi}{4} (4,5^2 - 4,0^2) = 3,3 \text{ m}^2$$

Gewicht beton	$3,3 * 27 * 24 = 2200 \text{ kN}$
gondel	1200 kN
stalen mast	<u>4000 kN</u>
Vertikale kracht	7400 kN

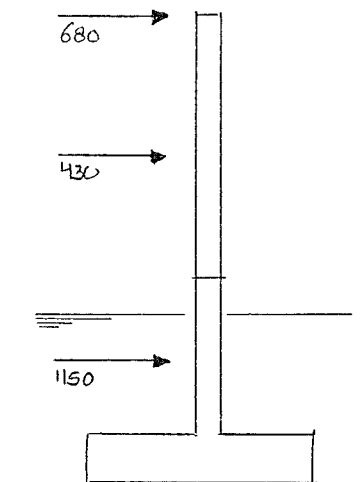
$$\sigma_2 = \frac{F}{A} = \frac{7400}{3,3} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

Totale drukspanning $25,8 \text{ N/mm}^2$
trekspanning $21,4 \text{ N/mm}^2$

Dit beton mag geen trek opnemen, dus een voorspanning van $21,4 \text{ N/mm}^2$ is nodig.

Dit geeft een totale drukspanning van $47,2 \text{ N/mm}^2$.

Het is dus noodzakelijk om met een betonkwaliteit B52,5 (d.w.z. beton met een karakteristieke druksterkte van $52,5 \text{ N/mm}^2$) te werken.



Opmerking: In het bovenstaande is geen rekening gehouden met dynamische effecten. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat het belastingschema waarop deze berekening gebaseerd is, uitgaat van de aanname dat de piek van de dynamische last als een constante belasting optreedt. Zie hiervoor deel III van deze serie rapporten.

Deze aanname is duidelijk veel te ongunstig.

In deel VI zal nader op deze aannamen en het effect van de dynamische belasting worden teruggekomen.

Opbouw van het caisson

Skirts

Skirts zijn damwandplanken die ongeveer een meter onder uit het caisson steken. Zij hebben tot taak de ruimte onder het caisson in compartimenten te verdelen en onderloopsheid tegen te gaan. Hierdoor is het mogelijk het caisson bij het afzinken vlak te stellen door de druk in de afzonderlijke compartimenten te variëren.

Deze skirts kunnen m.b.v. een trilblok in een grindsleuf in het bouwdok worden aangebracht, waarna later de vloer er omheen gestort wordt.

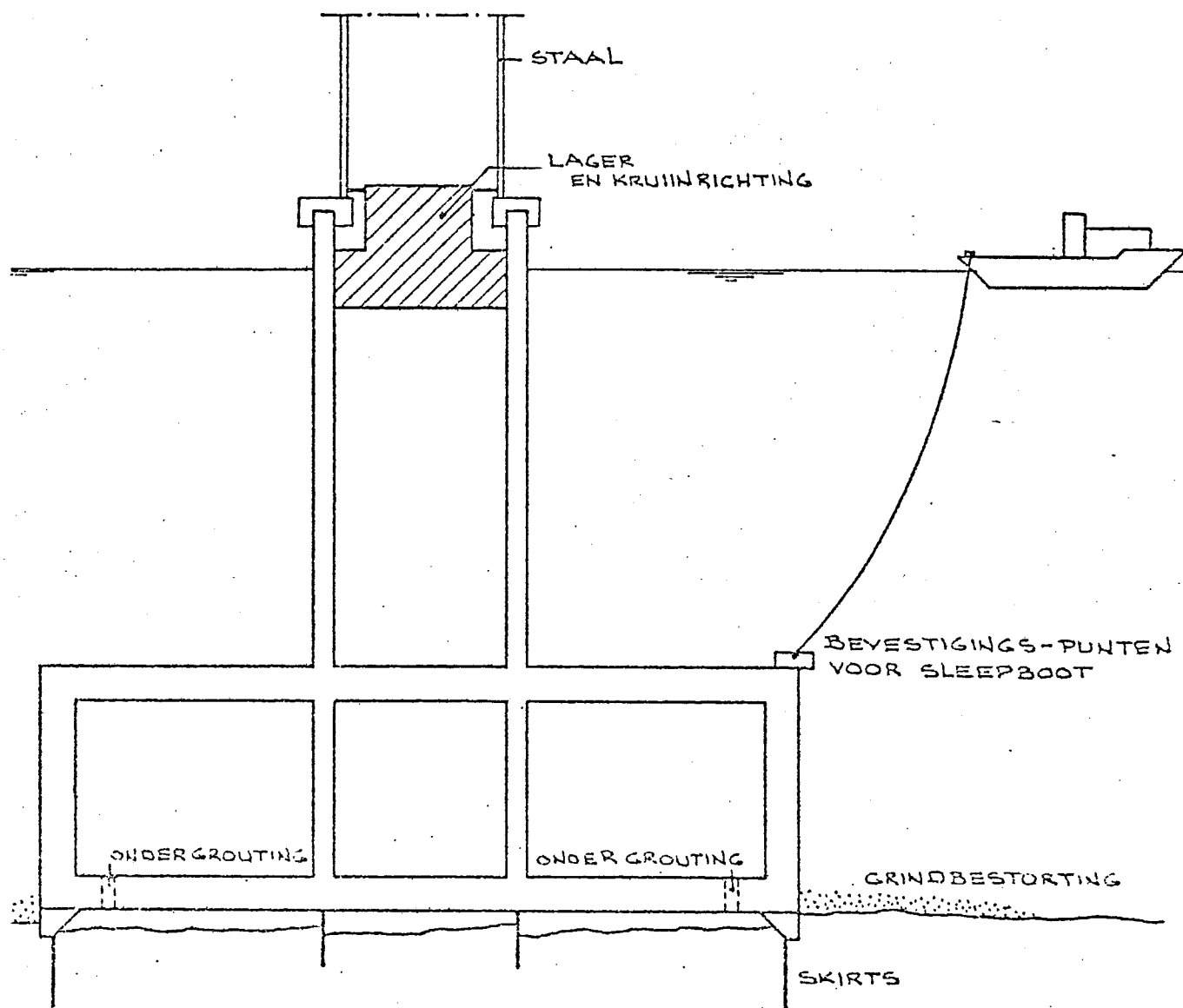
De consequentie hiervan is dat de bodem van het bouwdok uit zand en grind moet bestaan. Het moet een vrij grofkorrelig materiaal zijn, om te voorkomen dat tijdens het laten opdrijven van de caissons bij vulling van het dok, er een vacuum ontstaat tussen caisson en dokbodem.

Werkvloer

Na het plaatsen van de skirts dient de grond weer vlak gemaakt te worden en kan er een werkvloer gestort worden. In deze werkvloer dienen een aantal sparingen te komen voor de ondergroutingsapparatuur en voor afsluiters t.b.v. het afzinken. Na het storten van de werkvloer moet enkele dagen gewacht worden om deze te laten verharderen.

Vloer

De vloerwapening wordt op een vlechtterrein geprefabriceerd in relatief grote delen. Hierdoor is het mogelijk de vloerwapening in een korte periode te stellen. Tevens moeten de overige, in te betonneren, delen gesteld worden en kan de bekisting geplaatst worden. Uit de detailberekening kan mogelijkerwijze volgen dat voorspanning van de vloer nodig is. Hiervoor moeten dan de nodige kanalen en verankeringslichamen worden aangebracht. Vervolgens kan de vloer gestort worden.



hydronamic
sluysrecht holland

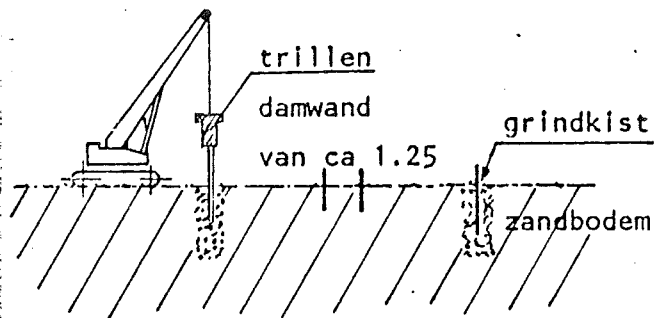
wind energie onderzoek

SCHEMATISCH OVERZICHT CAISSON ONDER WATER

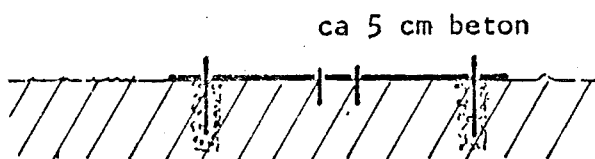
datum:

schaal:

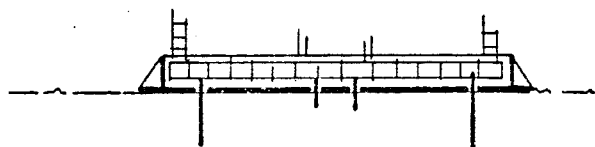
tek.no: 7



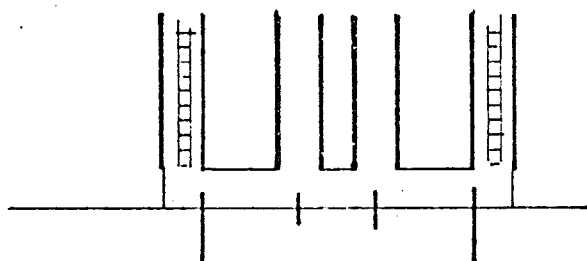
1. Intrillen van de skirts



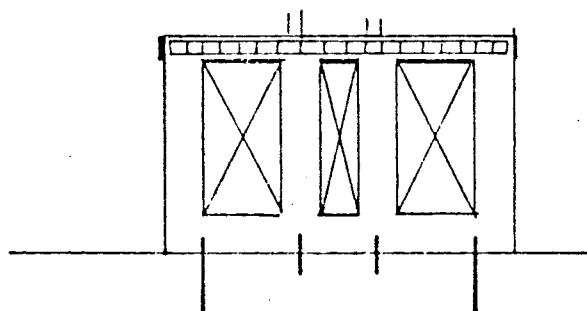
2. Storten werkvloer



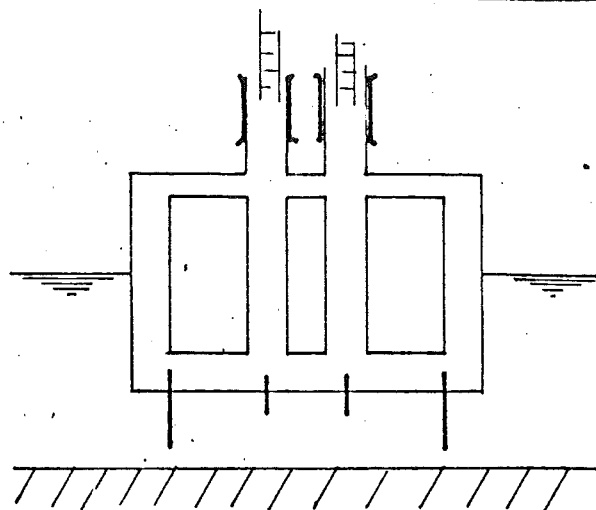
3. Storten van de vloer



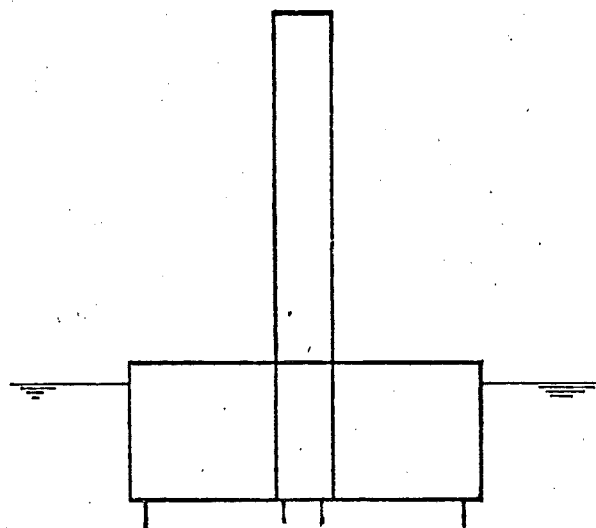
4. Storten van de wanden



5. Storten van het dek



6. Glijden van de toren



7. Betonconstructie met voltooide toren in drijvende toestand (op schaal)

NIET OP SCHAAL



wind energie onderzoek

BOUWFASEN VAN HET BETONCAISSON

datum:

schaal:

tek. nr: 8

Wanden

Nadat de vloer voldoende verhard is, kan de wandwapening, die elders geprefabriceerd is, gesteld worden. De voorspankanalen kunnen worden aangebracht evenals overige, in te betonneren, stalen onderdelen. Na het stellen van de bekisting kunnen de wanden gestort worden. Het volume van deze wanden is dusdanig dat het mogelijk is om alle wanden in één keer te storten.

Als de wanden redelijk verhard zijn, kan aan het dek begonnen worden; als de wanden vrijwel hun eindsterkte hebben, kan het dok onder water gezet worden en het caisson uitgevaren worden. Voor dit laatste is het niet nodig dat het dek reeds gereed is.

Dek

Om praktische redenen (tijdplanning, beschikbaarheid van stortinstallatie) is het echter zinvol het dek te storten als het caisson zich nog in het dok bevindt.

Om het dek te storten moet eerst een vloerbekisting gesteld worden waarop de wapening geplaatst wordt. De vloerbekisting kan worden uitgevoerd als betonnen prefab schalen, die gelijktijdig als constructief element dienst doen. Hierdoor wordt het op omslachtige wijze verwijderen van bekistings- en steigermateriaal uit de cellen voorkomen.

Toren

Na het storten van het dek kan het caisson worden uitgevaren en aan een afbouwsteiger worden afgemeerd. Als de wanden voldoende verhard zijn, kan begonnen worden aan de betonnen toren.

Deze toren zal met een glijbekisting gestort worden. Om met een glijbekisting te kunnen werken, moet het benodigde materiaal (wapening, betonmortel) constant kunnen worden aangevoerd.

Als alternatief kan ook het onderste deel van de toren (het deel in het caisson) reeds met een glijkist worden uitgevoerd.

Afspannen

Nadat de constructie verhard is, kan de voorspanning afgespannen worden. Dit zal veelal in fasen gebeuren gedurende de eerste weken na het storten. Deze fasering is gekoppeld aan de graad van verharding en het dieper in het water wegzinken van het caisson.

Stalen delen

In het beton zijn een aantal stalen elementen mee ingestort, om later diverse bevestigingen mogelijk te maken. Genoemd kunnen worden, de ondergroutingsapparatuur, de pijpen voor het vullen van de compartimenten met ballastmateriaal, het kruilager en de aandrijving van de krui-inrichting.

Bij het kruilager zal speciale aandacht moeten worden geschonken aan de waterdichte aansluiting van beton op staal. Een en ander is te realiseren door het instorten van een stalen stelring, waarop later het lager geplaatst kan worden. De stelopening kan dan worden afgesloten met kunsthars.

3. BOUWFACILITEITEN

3.1. Bouwfaciliteiten voor stalen delen

3.1.1. De stalen buismast

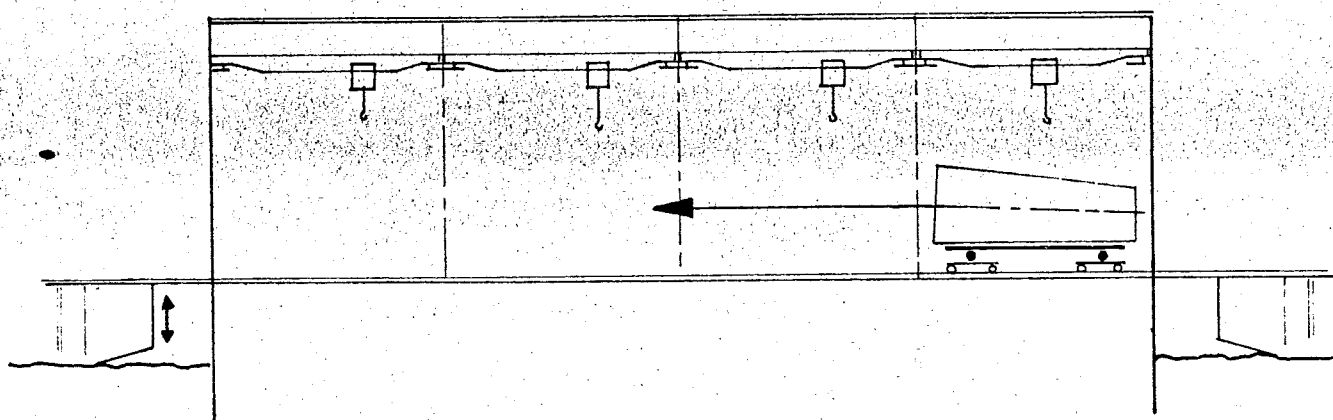
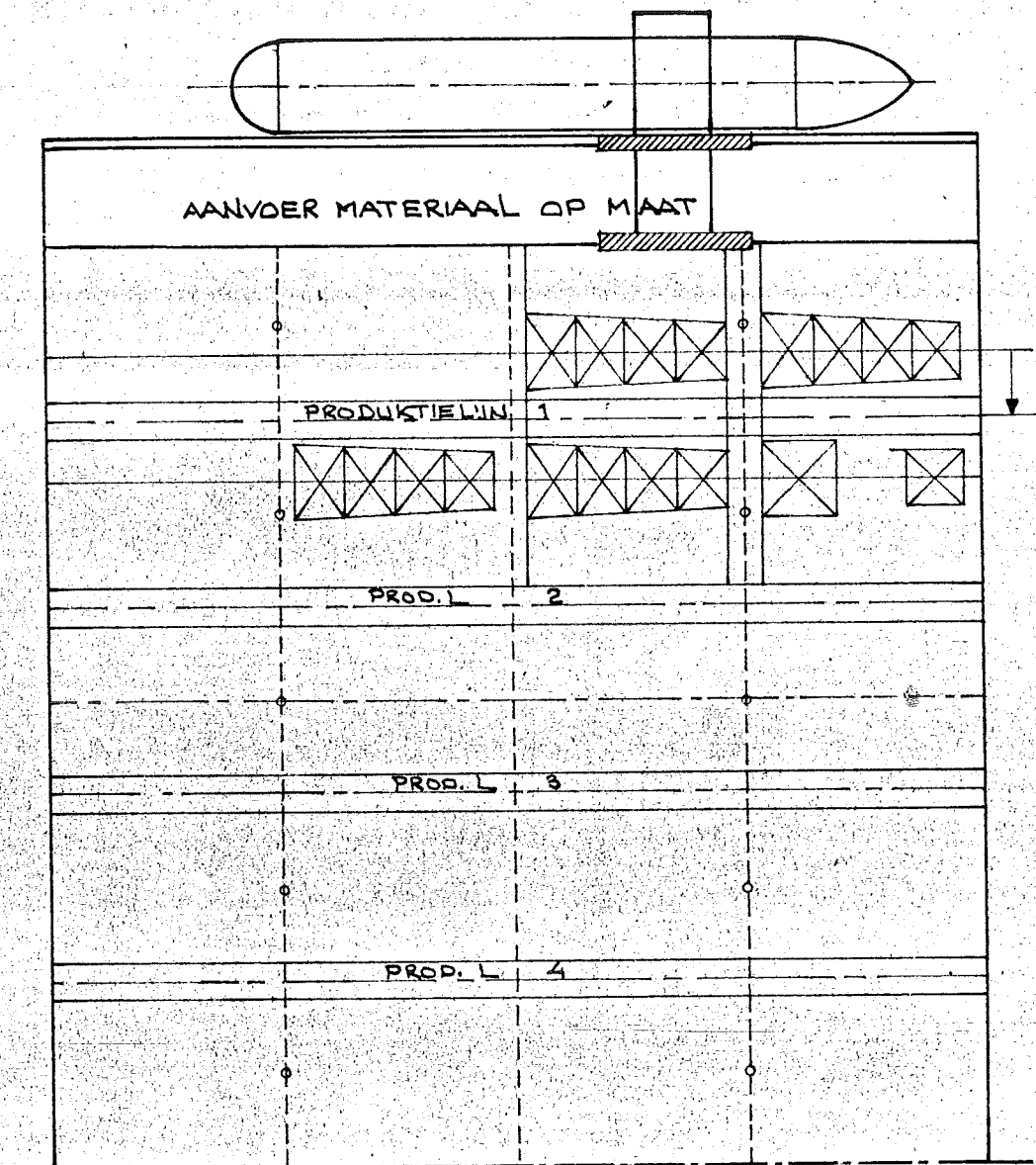
Met standaard plaatmaten is het mogelijk d.m.v. walsen cilinders te vervaardigen met een diameter van 4 m, een hoogte van 2 m en 5 cm wanddikte.

Deze ringen kunnen eenvoudig aan elkaar bevestigd worden door ze uitwendig met lasmanipulators te lassen. De tegennaad kan dan met de hand gelegd worden. Dit is makkelijker te realiseren dan met manipulators i.v.m. de lengten der delen. De mogelijkheid om machinaal te gutsen op deze grote schaal vereist nog nader onderzoek.

Het samenstellen van een buismast kan op de volgende manier geschieden: Van te voren worden stalen ringen gewalst van zo groot mogelijke lengte met een al dan niet variabele wanddikte. Deze worden gevormd tot cilinders met 1 langnaad. Al deze ringen van de juiste afmetingen worden getransporteerd naar een bouwplaats waar een aantal produktielijnen met lasautomaten zijn opgezet voor fabricage van de mastlichaamdelen, dit zijn delen opgebouwd met een aantal walsringen.

Wanneer wordt uitgegaan van een totale mast van 110 meter (30 m in de zeebodem, 30 m onderwater en 50 m boven water), is het ondoenlijk deze mast als één lichaam in de zeebodem te heien. De hijshoogte zou voor alle bestaande kranen te hoog zijn. Men kan nu als volgt werken:

Eén compleet deel van 50 m wordt 10 m de zeebodem ingeheid, d.m.v. heiblok en een muts op de paal; boven het waterniveau wordt een volgend deel op de ingeheid mast geplaatst d.m.v. lassen, maar beter met flensverbinden. De heimuts wordt op het volgend deel van 20 m geplaatst en de mast wordt verder de bodem ingeheid tot de genoemde diepte van ca 30 m. Hierna kan het laatste mastdeel met of zonder gondel worden aangebracht.



hydronamic
alledrecht holland

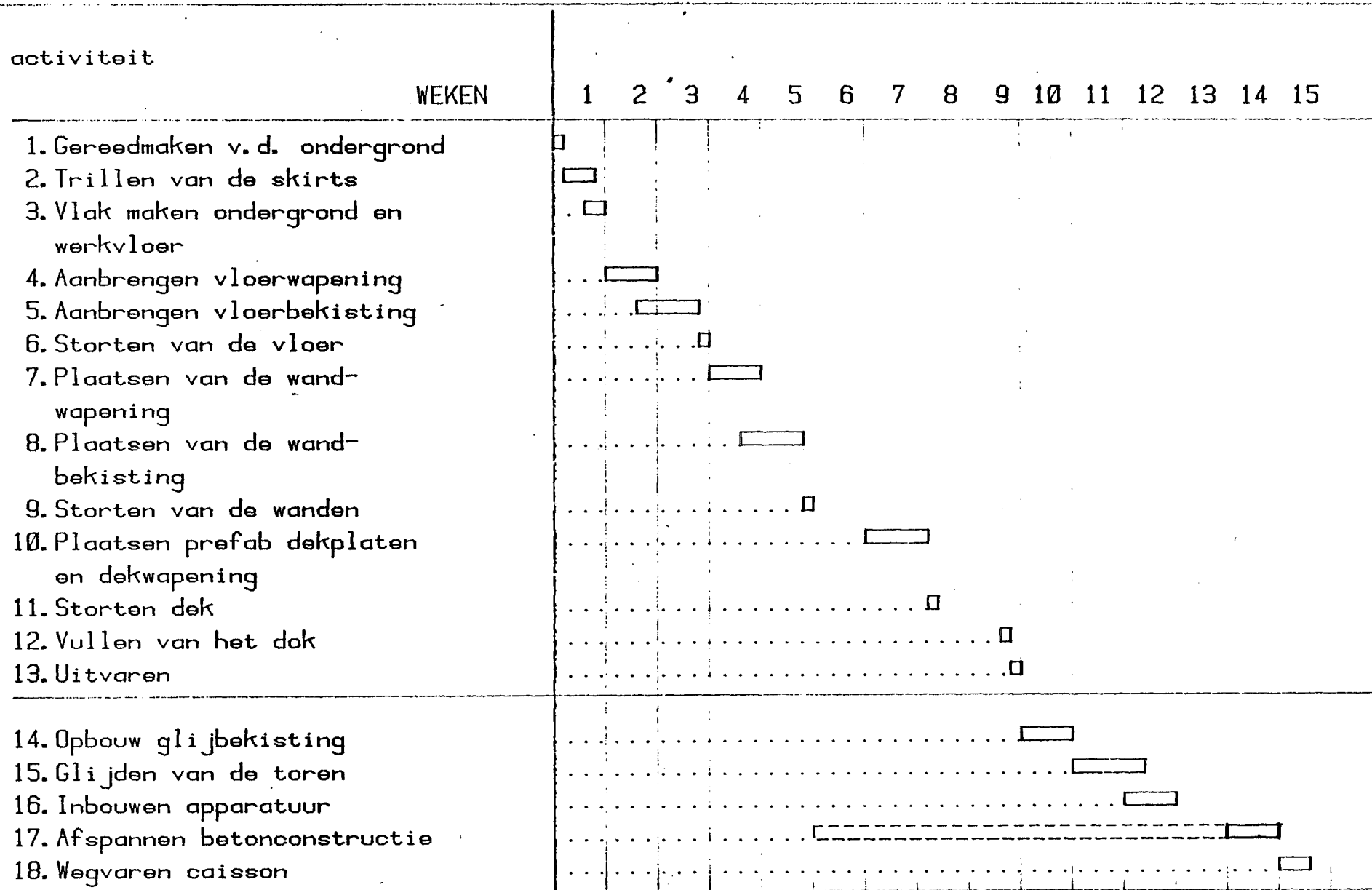
wind energie onderzoek

MONTAGE PLAATS VAKWERKMAST OF BUISMAST

datum:

schaal:

tek. no: 10



Er wordt geheid met een hydroblok: een hydraulisch gestuurd heiblok, dat in staat is zowel onder als boven water te heien met veel hogere heisnelheden dan conventionele heiblokken en met een veel nuttiger energierendement. Dit resulteert in een kortere heitijd. De stand van de geheide paal is door een ingebouwd geleidingssysteem altijd vertikaal. Generatoren voor pompaandrijving en de pompen zelf bevinden zich separaat aan boord van het bedieningsschip. De verbinding van pomp met heiblok geschiedt door slangen.

De heitijd, inclusief manoeuvreren bedraagt 1 dag. Totale produktie ca 150 masten per jaar per unit.

Het geschatte benodigde terrein voor de bouw en samenstelling heeft afmetingen van ongeveer $400 \times 200 \text{ m}^2$ overdekt (van belang bij slecht weer, dan kan doorgewerkt worden), waarop zich 10 produktielijnen en een walserij voor het rondzetten van de platen bevinden met een totale minimum capaciteit van twee complete masten per werkdag.

3.1.2. De vakwerkmast

Deze kan het makkelijkst worden gebouwd met behulp van mallen langs een productielijn. Indien het vakwerk reikt tot aan de zeebodem dan kan de mast in twee delen worden gesplitst van elk ca 40 meter.

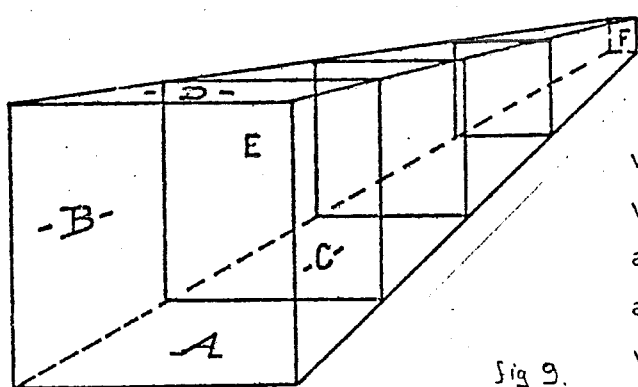


Fig 9.

vervaardigen zijde A en plaatsen op wagen
vervaardigen zijde B en C, bevestiging
aan A
aanbrengen horizontaal verband E en F
vervaardigen zijde C (=A), bevestiging
aan B en D.

Om een snelle bouw mogelijk te maken, kan worden gewerkt met gemerkte profielen van de juiste gebruikslengte (dus als zodanig besteld).

Geschat benodigd terreinoppervlak van $250 \times 400 \text{ m}$ met 8 productielijnen voor een minimum capaciteit van 2 mastlichamen per werkdag.

3.1.3. *Buismast voor plaatsing op caisson onderwater*

De bestelde cilindrische ringen moeten op een bouwplaats worden samengesteld tot een mastlichaam van ± 43 m lengte.

Zo'n lichaam moet in zijn geheel transportabel zijn. Aangezien de gondel en rotor kunnen worden gemonteerd op de bouwplaats blijft er minimaal werk over op zee. Het heffend vermogen zal wel aanzienlijk groter moeten zijn dan voor een kale mast.

3.1.4. *Vakwerkmast voor plaatsing op een caisson onderwater*

De vakwerkmast zal uit 1 deel kunnen bestaan met een lengte van ca 43 m. Hij moet in een productielijn worden opgebouwd uit op de vloer in een mal gemaakte onderdelen, waarvan de losse delen in juiste afmetingen bij de bouwplaats zijn afgeleverd. Het transport op het terrein geschiedt op 2 lorry's. De gondel en wieken zullen in de laatste fase van de productielijn aan de staalconstructie kunnen worden bevestigd.

De gondel komt met de wieken gemonteerd naar de bouwplaats.

N.B.:

Bij de bouwplaats dienen mogelijkheden te zijn voor het lossen van schepen en tevens voor het aanleggen van pontons met brugklappen om de geprefabriceerde masten naar de uiteindelijke plaats van bestemming te varen. Op het terrein dienen voldoende hijswerktuigen aanwezig te zijn om wachttijden tijdens de bouw te voorkomen.

3.2. Bouwfaciliteiten voor betondeel

Uit het tijdschema bij dit hoofdstuk blijkt dat de bouw van een caisson in het dok ca 9 weken kost. Deze periode wordt dokcyclus genoemd.

Daar er in een periode van 10 jaar 5000 installaties gebouwd moeten worden, betekent dit een productie van 10 per week, oftewel 90 per dokcyclus. Er moet dus dokcapaciteit zijn voor 90 caissons.

Daar één enkel dok met een capaciteit van 90 caissons niet erg economisch is, zullen meerdere doks nodig zijn.

Zinvol is om te denken aan 9 doks met ieder 10 caissons. Dit opent tevens de mogelijkheid om de productie in ieder dok een week te laten verspringen, hetgeen een optimale benutting van de benodigde mankracht en apparatuur mogelijk maakt.

Ieder dok zal dus 10 caissons moeten omvatten, en dus ongeveer 70 * 200 m groot moeten zijn.

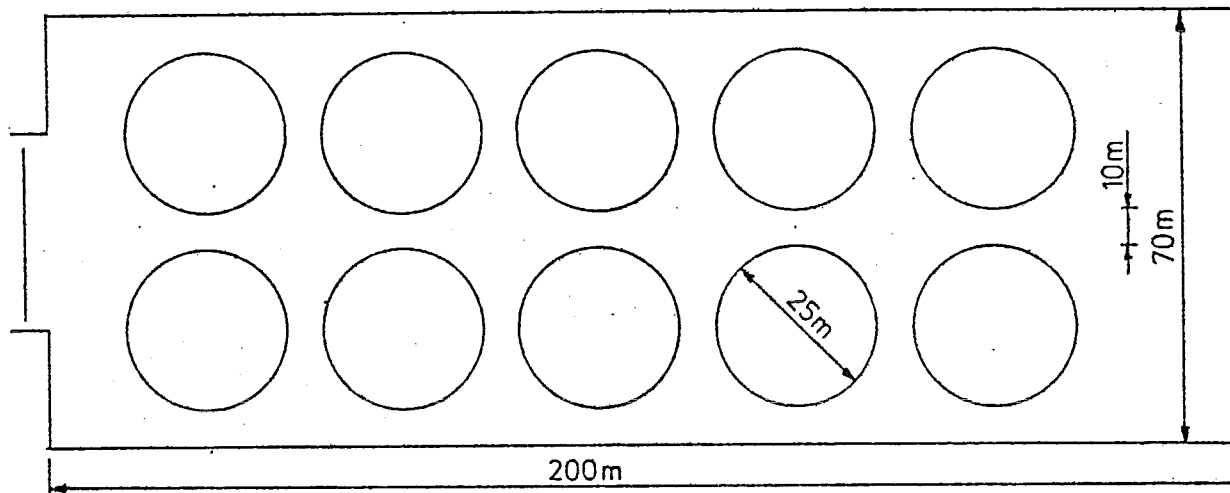
Bij deze berekening is er van uitgegaan dat alle caissons in een dok vrij snel achter elkaar gestort worden. Dit is slechts mogelijk met een bijzonder grote inzet van mankracht en materieel, en dus relatief duur. Wordt dit niet gedaan, dan wordt een dokcyclus langer (ca 11 weken) en zijn er dus in plaats van negen, elf doks nodig, en deze twee extra doks kosten ook veel geld.

Een nauwkeurige analyse van het bouwproces zal moeten uitwijzen welke methode het goedkoopste is.

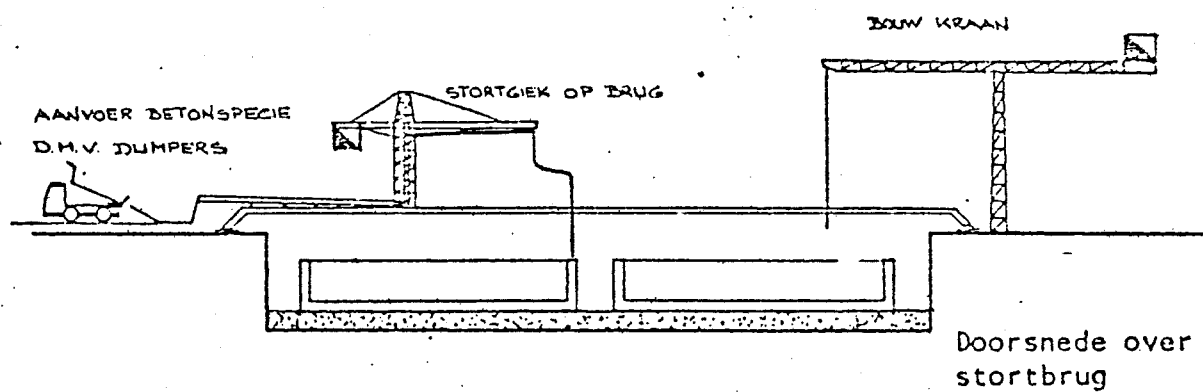
Een methode om met een grote capaciteit te storten, is het bouwen van verrijdbare bruggen over het dok, waarop torens met draaibare stortgieken geplaatst worden. De betonspecie wordt nu met dumpers aangevoerd naar een silo aan de kant van het dok en vandaar d.m.v. een pomp naar de toren getransporteerd. Door middel van een tweede pomp wordt de beton via de giek naar de stortplaats gebracht.

Na de bouw in het dok zal het caisson nog ca 6 weken aan een afbouwsteiger moeten liggen voor het glijden van de toren, de eindmontage van de stalen delen en het afspannen. Hiervoor zijn dus ongeveer 60 ligplaatsen nodig aan steigers die goed toegankelijk zijn voor vrachtauto's, i.v.m. de aanvoer van materiaal voor het storten van de torens en het aanbrengen van de stalen delen. Ook zullen deze steigers van torenkranen voorzien moeten worden. Eén kraan per drie caissons is mogelijk omdat aan een groot deel van de caissons aan de steigers niet gewerkt kan worden doordat het beton tijd vergt voor het verharden.

Ten behoeve van het prefabriceren van de wapening is een terrein nodig ter grootte van enkele ha. De productie van de wapeningskorven dient zoveel mogelijk overdekt te zijn.



Bovenaanzicht



wind energie onderzoek

BOUWDOK VOOR DE CAISSONS

datum:

schaal:

tek. nr: 41

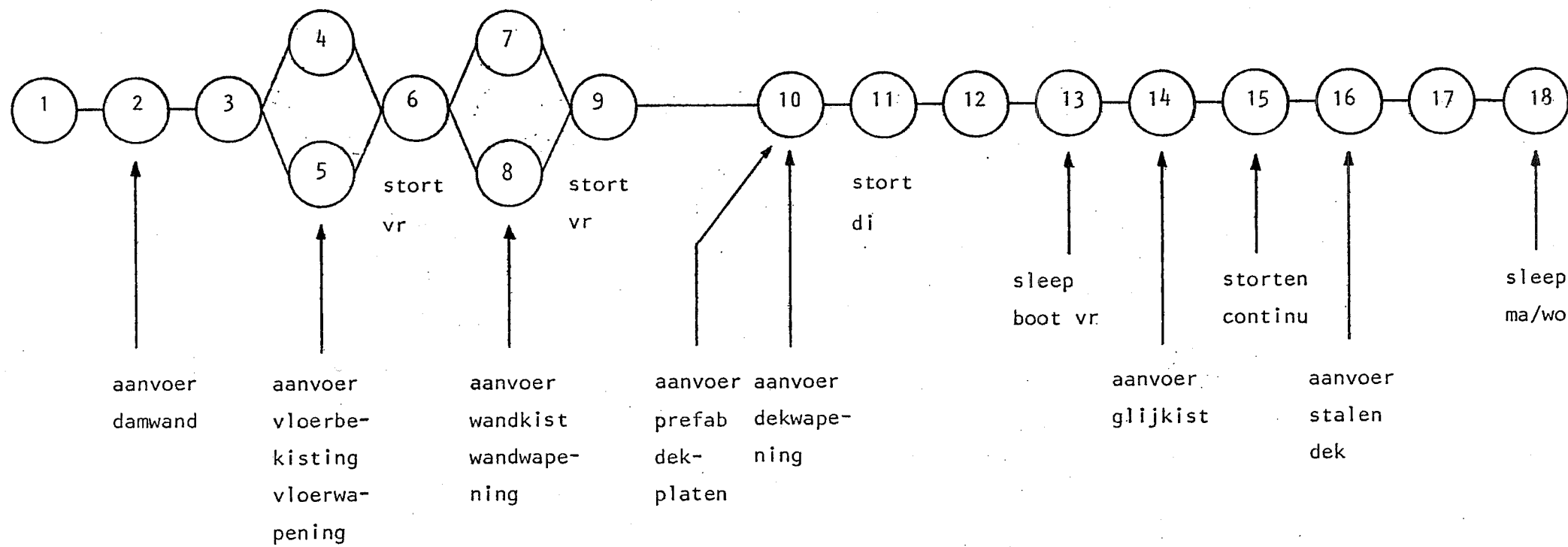


fig. 12

4. ZEEMONTAGE

4.1. Zeemontage voor stalen buismasten

Zoals in hoofdstuk 3.1.1. reeds opgemerkt, dienen de masten naar het operatiegebied te worden gebracht in enkele afzonderlijke delen. Deze delen kunnen drijvend worden aangevoerd (door er bijv. een luchtzak in aan te brengen). Op de bouwplaats aangekomen kan de mast door gedeeltelijk laten vollopen van de luchtkamers vertikaal gesteld worden. Met behulp van een kraanschip of hefponton wordt de mast nu op zijn plaats gezet waarna een hydroblok kan worden aangebracht om de mast de bodem in te heien. Op deze plaats is van te voren een grindbed aangebracht.

Het tweede deel kan onder water aan het eerste worden gelast maar het is eenvoudiger dit boven het waterniveau te doen; een eventueel bordes zou de werkzaamheden aanzienlijk verlichten.

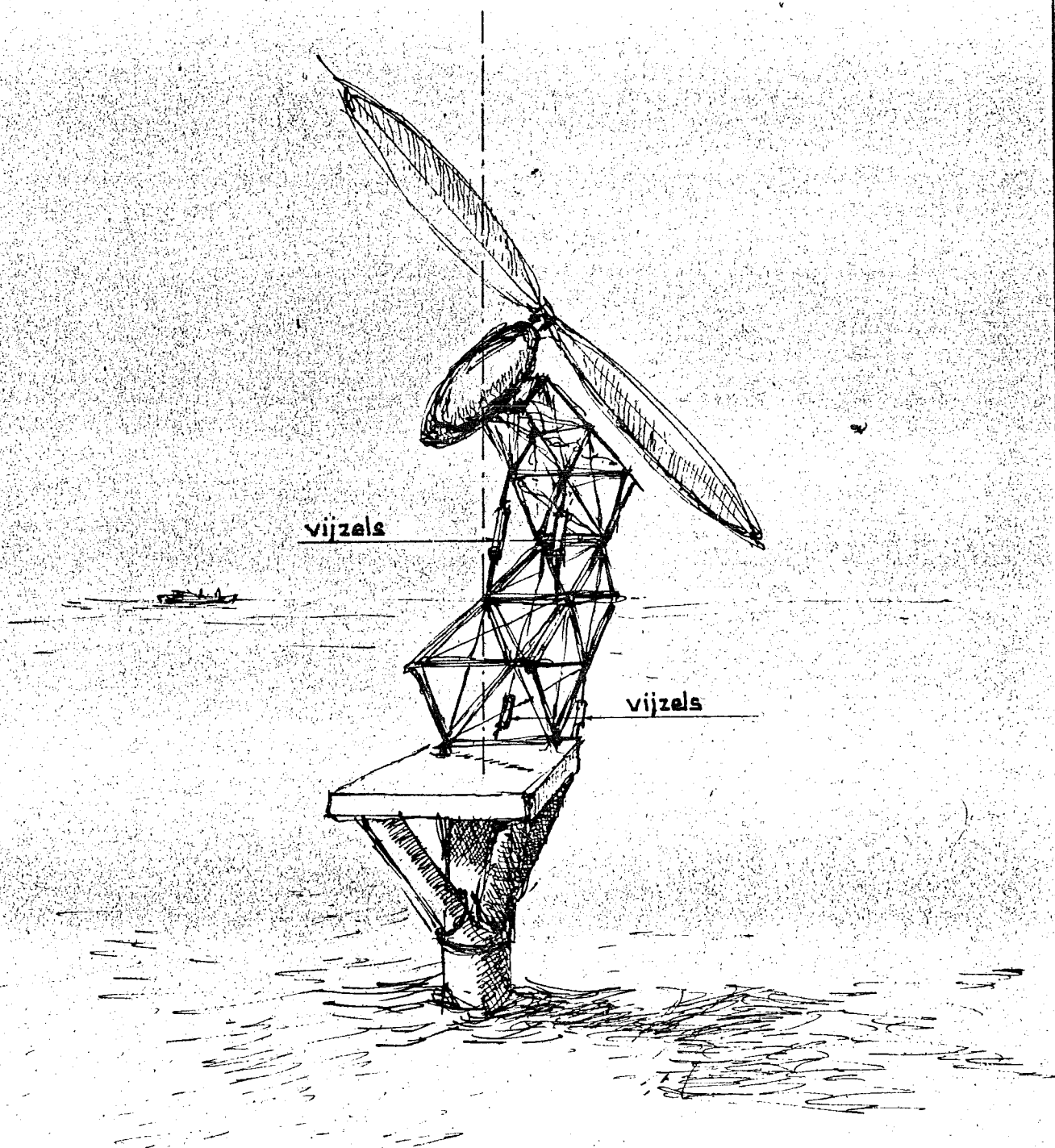
Voor het aanbrengen van de bebakening t.b.v. meet- en regelapparatuur en electriciteitstransport voor aandrijving van de krui-inrichting en verlichting is het praktisch binnenin de mast over bordessen en vaste trappen te beschikken.

Het werken met het genoemde hydroblok garandeert een snelle procedure met een, in vergelijking tot andere heibloktypen, zeer korte heitijd; tevens kan de te heien mast zodanig vertikaal de grond in worden geheid dat scheefstand praktisch niet voor kan komen door de goede geleiding van het blok.

Vóór het heien dient vast te staan hoe diep er geheid moet worden, omdat de totale mastlengte daarvan afhangt.

Deze gegevens moeten zijn verkregen uit verrichte grondboringen/sonderingen.

In verband met de weersgesteldheid kan worden uitgegaan van ± 150 beschikbare dagen per jaar voor het heien. Bij het heien van 1 mast per dag zal de maximum capaciteit van de hei-unit dus ca 150 masten per jaar zijn. Er zijn dus tenminste 4 hei-units nodig om het voorgestelde programma van 5000 windturbines in 10 jaar te realiseren.



wind energie onderzoek

hydrodynamic
sluodrochts holland

datum:

schaal:

tek.no: 15

4.2. Zeemontage voor vakwerkmast

Deze masten worden ca 80 meter lang. De opbouw uit slechts twee delen moet haalbaar worden geacht. Er kan dan gewerkt worden met twee delen van elk 40 meter. Voor juiste plaatsing zie hoofdstuk 4.3. Wanneer onderzijde vakwerkmast op de bodem staat, zullen duikers de juiste positie ter plaatse moeten bepalen voor het heien der ondersteuningspalen.

De mast kan bestaan uit één of meerdere delen, een praktische uitvoering is wellicht die waarbij mast en gondel in een keer geplaatst worden.

De mast kan uit opgevouwen toestand hydraulisch worden opgericht, zie schets, waarbij het zwaartepunt van de gondel een verticale rechte lijn beschrijft. Dit systeem kan ook toegepast worden indien de vakwerkmast op het caisson geplaatst wordt.

4.3. Het afzinken van caissons

De caissons zullen vanaf de bouwplaats met behulp van sleepboten naar hun locatie gesleept worden, om aldaar te worden afgezonken.

Voordat een caisson afgezonken kan worden, moet de bodem enigszins afgevlakt worden en ontdaan worden van onregelmatigheden, zoals wrakstukken, afval, grote stenen, e.d.

Om dit voorbereidend werk te kunnen doen, moet de locatie van de installatie zeer nauwkeurig vastgelegd worden. Hiervoor zal een elektronisch plaatsbepalingssysteem geïnstalleerd moeten worden, want de op dit moment beschikbare systemen hebben midden op de Noordzee niet voldoende nauwkeurigheid.

Voor een dergelijk plaatsbepalingssysteem zijn in principe twee mogelijkheden:

a. Een systeem onder water.

De onderwater-systemen werken veelal akoestisch. De reikwijdte is over het algemeen gering. Het voordeel van een onderwater-systeem is dat het plaatsen van de transponders eenvoudig is (ze kunnen op de zeebodem geplaatst worden), dat het plaatsbepalingssysteem ook door duikboten gebruikt kan worden, en dat punten op de zeebodem (en niet aan het wateroppervlak) vastgelegd worden.

b. Een systeem boven water.

Deze systemen werken radiografisch. Het voordeel hiervan is de grotere reikwijdte, waardoor een systeem voor het gehele windturbinepark gebruikt kan worden.

Het plaatsen van de transponders c.q. zenders kan problemen geven als niet voldoende vaste punten in de omgeving gevonden kunnen worden.

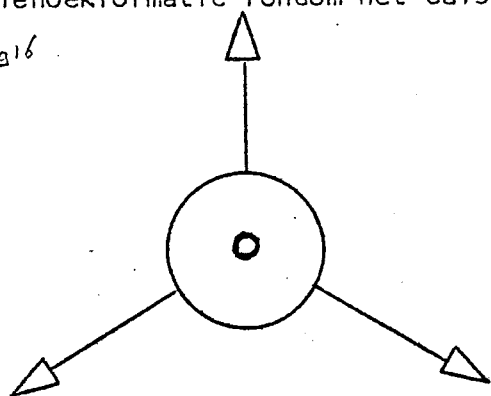
Het afvlakken van de bodem kan met baggerwerktuigen gebeuren. Gezien de relatief grote waterdiepte, de vereiste nauwkeurigheid en de omvang van het werk, loont het de moeite om een baggervaartuig te ontwerpen dat specifiek aan de gestelde eisen kan voldoen. Hierbij kan zowel gedacht worden aan een semi-submersible als aan een hef-eiland, voorzien van een beweegbare cutter of, als de bovengrond losgepakt blijkt te zijn, aan een soort dustpan-zuiger.

Grotere stenen kunnen niet met een baggervaartuig verwijderd worden. Deze kunnen met een trawler met versterkte netten opgevisht worden. Met deze procedure is bij Antifer een goed resultaat bereikt. Wrakstukken zullen gelicht moeten worden.

Het uiteindelijke resultaat van deze werkzaamheden moet zijn een bodem die niet meer dan enkele procenten helling heeft en geen onregelmatigheden vertoont die groter dan 50-75 cm zijn. Indien grotere onregelmatigheden niet te voorkomen zijn, zal de lengte van de skirts vergroot moeten worden.

Het caisson zal, gezien zijn relatief geringe omvang, door een enkele sleepboot naar locatie gesleept kunnen worden. Voor het afzinken zijn echter tenminste drie sleepboten nodig die in een driehoekformatie rondom het caisson liggen. Beter en nauwkeuriger kan

Sig 16



gewerkt worden met een groter aantal sleepboten (voor de grote zwaartekracht-platformen voor de olie-industrie in de Noordelijke Noordzee zijn 6 sleepboten gebruikt). De gehele operatie wordt geleid door één man die zich in een centrale commandopost bevindt.

Gezien het feit, dat dit afzinken 5000 maal moet plaatsvinden, is het niet zinvol om deze commandopost op het caisson te bouwen; deze commandopost kan beter op een van de sleepboten geplaatst worden. Het caisson wordt afgezonken door langzaam en gelijkmatig water in te laten. Gedurende de gehele procedure wordt het caisson op zijn plaats gehouden door de sleepboten.

De gehele procedure kent twee kritieke ogenblikken. Het eerste is het moment waarop het dak van het caisson door de waterlijn heengaat; het tweede is het moment dat het caisson vrijwel op de bodem staat. Het passeren van de waterlijn van het dak is kritiek omdat op dat moment de drijvende stabiliteit van de constructie het kleinst is, dus is de responsie op de aanwezige golven maximaal.

De laatste meters zijn kritiek omdat het caisson dan de neiging heeft om af te glijden op de dunne waterlaag tussen caisson en bodem.

Om dit laatste te voorkomen brengt men wel een aantal palen aan t.p.v. de skirts. Deze palen prikken al in de bodem als het caisson zich nog enige meters boven de bodem bevindt. Of het aanbrengen van deze

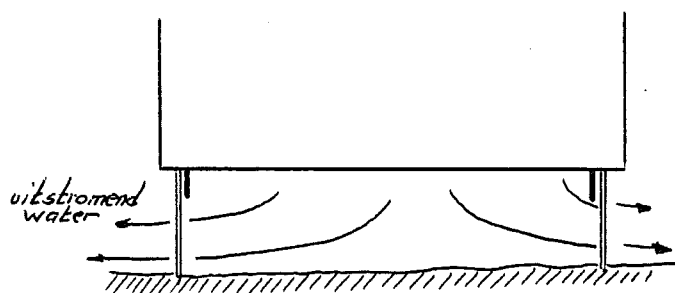


fig. 17

palen zinvol is, kan pas blijken nadat onderzocht is of de sleepboten het caisson op hun plaats kunnen houden, en het afglijden kunnen tegengaan.

Dit laatste, evenals een onderzoek naar het optimale aantal sleepboten kan worden bekeken met behulp van de

scheepssimulator van het N.S.P. te Wageningen.

Zodra de skirts enkele dm in de bodem zijn ingedrongen, zakt het caisson niet meer, omdat het water in de ruimte tussen caisson, skirts en bodem niet kan ontsnappen.

Dit water laat men nu gecontroleerd ontwijken door afsluiters in de caisson bodem. Door vermindering van de opwaartse druk wordt het caisson nu verder de bodem in gedrukt.

Door het regelen van de uitstroomsnelheid van het water kan men het caisson zonodig wat meer horizontaal stellen.

Tot slot wordt de overblijvende ruimte tussen onderkant caisson en bodem opgevuld met grout (water-zand-cement mengsel) om het contact tussen caisson en ondergrond te verbeteren. Het cementgehalte in dit mengsel kan vrij laag zijn bij gebruik van goede onderspoelingsmethoden.

Om de uiteindelijke stabiliteit van het caisson te kunnen garanderen worden een aantal compartimenten gevuld met ballastmateriaal (zand of grind). Hiervoor is een vulinrichting ingebouwd.

5. ENERGIETRANSPORT

Inleiding

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de infrastructurele en constructieve aspecten van het transport van energie van de windturbines naar de gebruikers. Hierbij wordt uitgegaan van een tweetal uitgangspunten:

1. Het energietransport vindt plaats in de vorm van transport van elektrische energie, d.m.v. kabels op of in de zeebodem
2. De afnemers van de energie bevinden zich in Nederland

Deze uitgangspunten zijn gesteld i.v.m. het doel van dit onderzoek en de door het ECN verstrekte opdracht. In een later stadium zal het wellicht toch zinvol zijn om van deze uitgangspunten af te stappen, bijv. door energietransport via kabels boven water of in de vorm van waterstof te beschouwen, of door de energie te leveren aan energie-intensieve industrie op kunstmatige eilanden in de Noordzee. De electrotechnische aspecten worden niet hier behandeld, daar zij het onderwerp zijn van diepgaande studies door anderen binnen het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie.

Aanlandingsplaatsen

Gezien de afstanden tot de kust en de ligging van het landelijke koppelnet komen aanlandingen in aanmerking bij IJmuiden, Den Helder en Harlingen. Zie hiervoor ook deel II van deze serie rapporten.

Het lijkt niet aanbevelenswaardig om naar alle drie de mogelijke aanlandingsplaatsen een leiding te leggen; dit vooral omdat de aanleg van zeekabels aanmerkelijk duurder is dan leidingen over land, daar deze laatste in het algemeen als bovengrondse leidingen worden ontworpen.

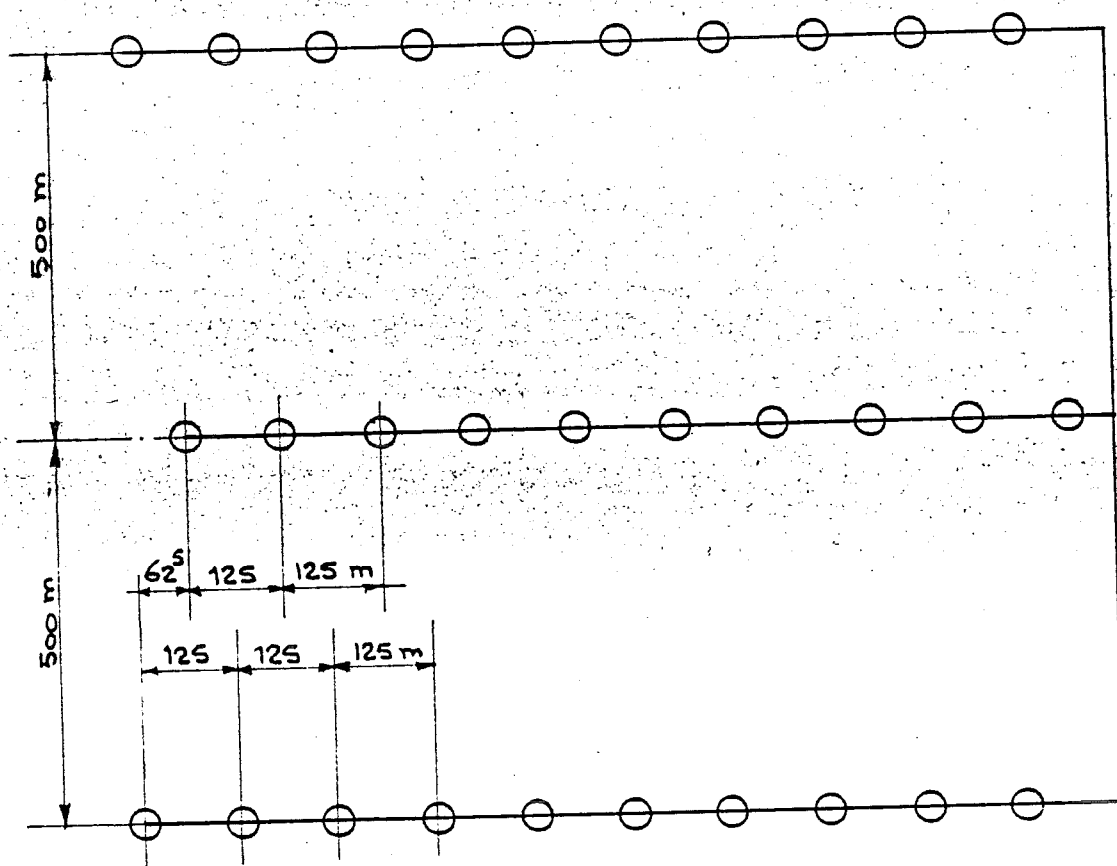
Aanlanding in Harlingen heeft het milieutechnische bezwaar dat het dan noodzakelijk zal zijn de leiding door het kwetsbare Waddengebied heen te leggen. IJmuiden heeft het voordeel, dat daar de aanlanding plaatsvindt op korte afstand van gebieden met een grote energiebehoefte. Anderzijds kan men de aanlanding van windenergie beschouwen als een belangrijke impuls voor industriële ontwikkeling rond de aanlandingsplaats (vergl. de aanlanding van vloeibaar aardgas). Dit pleit derhalve voor een noordelijk gelegen aanlandingsplaats.

De aanlanding van windenergie is dus niet louter een technisch probleem. In dit rapport zal dan ook geen keuze gemaakt worden tussen de potentiële aanlandingsplaatsen. Het verdient aanbeveling om de aanlandingsplaats d.m.v. een Planologische Kern Beslissing op te nemen in het Structuurschema Electriciteits Voorziening.

Faciliteiten t.p.v. de aanlandingsplaatsen

Het energietransport zal, om een aantal redenen, plaatsvinden in de vorm van gelijkstroom. Het zal dus noodzakelijk zijn om t.p.v. de aanlandingsplaats omvormers te plaatsen om de gelijkstroom om te zetten in een 50 Hz-systeem. Daar bovendien het vermogen dat de turbines leveren zeer onregelmatig is, vereist dit proces gecompliceerde elektronische apparatuur. De TH-Eindhoven doet hier momenteel onderzoek naar, zodat verwezen kan worden naar de desbetreffende rapporten. Het ligt in de verwachting dat een terrein van een paar ha voldoende groot is voor dit omvormstation. Deze oppervlakte is bij alle aanlandingsplaatsen aanwezig. Er dient wel rekening mee gehouden te worden dat een dergelijk omvormstation een sterk landschapsontsierend element is, en daarom niet voor plaatsing in open land in aanmerking komt.

↓
wind



hydronamic
sluizen - holland

wind energie onderzoek

PATROON VERBINDINGSKABELS TUSSEN
DE AFZONDERLIJKE TURBINES

datum:

schaal:

tek.nr: 18

Het station zal moeten worden ingepast in een coulissen-landschap, waarbij veel aandacht besteed zal moeten worden aan de landschaps-architectonische aspecten.

Koppeling van de turbines

Gedacht is de turbines in groepen van een dertigtal eenheden op te delen. De door deze 30 turbines geleverde energie wordt d.m.v. kabels gevoerd naar een centrale installatie. In deze centrale installatie bevindt zich de apparatuur om de geleverde energie toe te voegen aan hoofdleidingen binnen het turbinepark. Zonodig wordt in deze centrale installatie de spanning reeds opgetransformeerd naar een minder verliesgevende waarde. De in deze centrale turbine aangebrachte apparatuur draagt er tevens zorg voor dat de turbines die minder energie leveren dan hun burens, geen energie aan het net kunnen onttrekken.

Via de hoofdleidingen wordt de energie getransporteerd naar het koppelstation. In dit station wordt de gekoppelde energie van de verschillende hoofdleidingen opgetransformeerd naar de vereiste transportspanning.

Zowel voor regelapparatuur, transformatoren en gelijkrichters als voor een thuisbasis van de montage- en onderhoudsploegen is enige ruimte nodig. Een mogelijkheid om deze ruimte te creëren is de bouw van een klein kunstmatig eiland.

Kabelwerk

Zoals reeds in het voorgaande is gesteld, zal energietransport d.m.v. gelijkstroomkabels plaatsvinden. Voordelen van transport met gelijkstroomkabels zijn o.a.:

1. kleinere transportverliezen
2. er kan met dunnere kabels gewerkt worden
3. de kabels kunnen dicht bij elkaar gelegd worden

Als kabeltypen komen in aanmerking:

- a. conventionele kabels met papierisolatie
- b. kabels met kunststofisolatie
- c. spacerkabels (buisvormige kabels met de geleider in het midden en gevuld met gas (SF_6 , zwavelhexafluoride))
- d. cryogene kabels
 - d1. diepgekoelde kabels (hebben nog enige weerstand)
 - d2. suprageleidende kabels (hebben geen weerstand)

Indien het transport van het koppelstation naar de wal plaatsvindt met flexibele kabels, dan kunnen deze door een conventioneel kabelschip gelegd worden. De kabel komt dan echter op de zeebodem te liggen, hetgeen met het oog op ankers en sleepnetten een gevaarlijke situatie is.

Men zal dus òf de kabel moeten bedekken, òf de kabel moeten ingraven. Beide procedures zijn vrij gecompliceerd, temeer daar een kabelschip de kabel niet precies op een van te voren vastgelegde plaats kan leggen. Het leggen van kabels in een gebaggerde sleuf is daarom erg moeilijk. De beschikbare ingraaf-apparatuur voor pijpleidingen, kan misschien eenvoudig gemodificeerd worden voor het ingraven van kabels. Het bedekken door storten van zwaar granulair materiaal (grof grind of iets dergelijks) met precisie-stortapparatuur zal waarschijnlijk wel de minst dure oplossing zijn.

Indien er een vrij starre spacerkabel gebruikt wordt, dient de 'kabel' als een pijpleiding gelegd te worden. Hiervoor zullen de in de olie- en gasindustrie gebruikte pijpenleggers gebruikt kunnen worden. Omdat echter een spacerkabel stofvrij moet blijven, zullen er zeer speciale installaties aan boord van deze pijpenleggers moeten komen om dit te kunnen garanderen. De spacerkabel is op dit ogenblik nog niet feasible voor gebruik als onderzeese energietransportleiding. Gezien de ontwikkelingen op dit gebied mag men deze kabel echter niet uitsluiten in de beschouwingen over projecten op middellange termijn.

Meet- en regeltechniek

Bij de turbine dient regelapparatuur aanwezig te zijn voor de krui-inrichting. In alle voorgestelde alternatieven is hiervoor ruimschoots voldoende ruimte beschikbaar. Behalve bij de volledige vakwerkmast kan bij alle alternatieven deze krui-inrichting in het inwendige van de constructie gebouwd worden, hetgeen de bescherming tegen de invloed van de zee aanzienlijk vereenvoudigd.

De regelapparatuur voor de stand van de wieken, evenals de reminstallatie worden in de gondel ingebouwd.

Met betrekking tot de elektrische installatie hoeft slechts weinig in de molen te worden ingebouwd. Ook hiervoor zal voldoende ruimte beschikbaar zijn.

6. WERKGELEGENHEIDSASPECTEN

Met betrekking tot de werkgelegenheid zijn een aantal fasen te onderscheiden, nl.:

- a. de bouw van de montageplaatsen
- b. de fabricage van de stalen delen
- c. de fabricage van de betonnen caissons
- d. de fabricage van de gondel
- e. de fabricage van de wieken
- f. de zeemontage
- g. het onderhoud

Met betrekking tot de aspecten d. en e. zal in dit rapport geen uitspraak worden gedaan, omdat deze aspecten buiten dit deel van het onderzoek vallen, en tot de competentie van andere partners in het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie behoren. In het navolgende zal er verder vanuitgegaan worden dat in een periode van 10 jaar 5000 turbines geplaatst worden.

De bouw van de montageplaatsen is heel moeilijk in manuren aan te geven, omdat dit sterk afhangt van de beschikbaarheid van bestaande faciliteiten. Geschat wordt voor de bouw van de bouwdoks voor de caissons op ca. 700 manjaar, de staalconstructiewerkplaats op ca. 100 manjaar. Samen met wat organisatie kan de initiële fase dus op ca. 850 manjaar geschat worden; te realiseren in ca 2 jaar. De fabricage van de stalen delen omvat het klaarmaken van de afzonderlijke staaldelen, de montage van deze delen in de staalconstructiewerkplaats en diverse andere handelingen.

Dit is ongeveer 0.2 manjaar/caisson.

De bouw van de caissons (ca 1500 m³ beton) kost ongeveer 4 manjaar. Hierbij komt nog ongeveer 1 manjaar voor diverse ondersteunende werkzaamheden.

De fabricage van de volledig stalen mast kost ongeveer 5 manjaar, inclusief het conserveren.

De stalen mast die op het caisson geplaatst wordt, zal ca 2 manjaar kosten.

Voor het plaatsen van de constructie is een montage-unit nodig die enige speciaal ontwikkelde schepen met hun bemanning omvat.

Gedacht wordt hierbij aan 4 units, met ieder zo'n 130 man. Totaal dus 520 man.

Indien de turbines op heipalen geplaatst worden, zijn er ook 4 heiploegen van 120 man (totaal ca 480 man) nodig.

Samenvatting

	Caisson		Stalen paal	
	per unit	totaal	per unit	totaal
Bouw montageplaats	0,2	850	0,05	250
Bouw caisson	4	20.000		
Bouw staaldeel	2	10.000	5	25.000
Bouw gondel & wieken		p.m.		p.m.
Montage	<u>1</u>	<u>5.200</u>	<u>2</u>	<u>10.000</u>
	7,2	36.050	7	35.250

De bouwtijd is 10 jaar + 2 jaar bouw van de bouwplaats. Dit betekent dus dat de bouw van de draagconstructie werkgelegenheid biedt voor 3000 man gedurende 12 jaar.

Hierbij komt dus nog de bouw van gondel en wieken.

Verwacht wordt dat voor onderhoud een ploeg van ca 1000 man nodig is. Dit onderhoud begint al tijdens de bouwperiode. Verwacht kan worden dat iedere 5 jaar de turbines aan een grondige revisie toe zijn.

Enige andere aspecten met betrekking tot de werkgelegenheid

Het windturbine-park vereist nog vrij veel andere voorzieningen, die ook ieder voor de nodige werkgelegenheid zorg zullen dragen. Te denken valt hierbij aan de controle op de veiligheid van de installatie. Zowel tijdens de bouw als tijdens het bedrijf zullen een groot aantal factoren constant op hun veiligheidsaspecten bezien moeten worden. Hiervoor zullen een groot aantal veiligheidsinspecteurs nodig zijn. Het gebied zal ook bewaakt moeten worden.

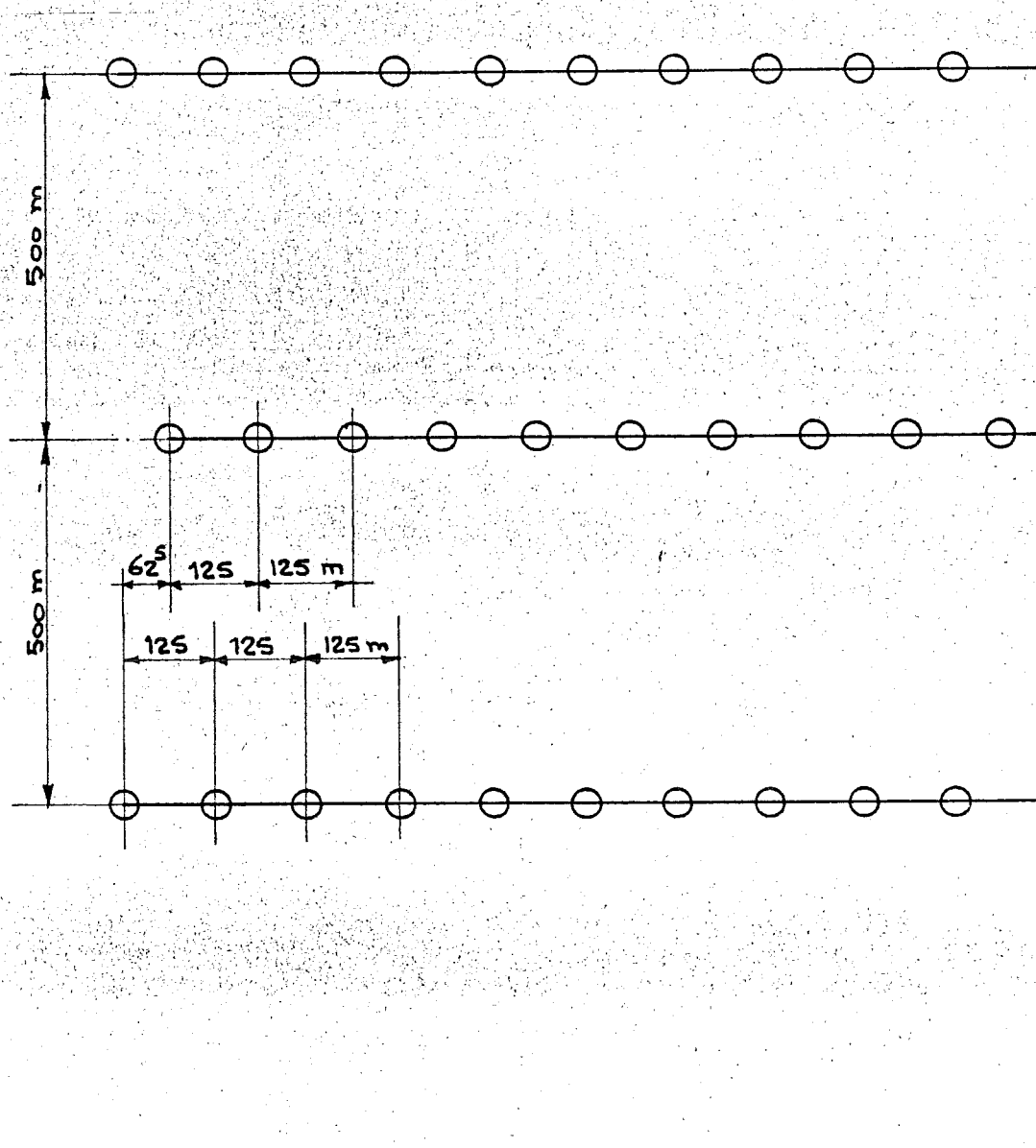
Verder zullen ook de elektrische voorzieningen, zoals het leggen van de verbindingskabels en de bouw van koppel- en omvormstations de nodige manuren kosten.

Er is ca. 850 km verbindingskabel tussen de molens onderling en ca. 150 km kabel tussen de offshore-koppelstations nodig.

Hierbij komen nog een aantal malen een verbindingskabel van het turbinepark naar de vaste wal (totaal ca. 250 km), zodat er op ongeveer 1250 km kabelwerk gerekend kan worden. Het leggen van deze kabels zal ongeveer een 1000 manjaar kosten.

Over de bouw van de diverse stations zal in dit rapport geen uitspraak worden gedaan, omdat deze onder de competentie vallen van andere partners in het Nationaal Programma.

↓
wind



wind energie onderzoek

PATROON VERBINDINGSKABELS TUSSEN
DE AFZONDERLIJKE TURBINES

datum:

schaal:

tek.no: 18

activiteit

WEKEN

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

1. Gereedmaken v. d. ondergrond
2. Trillen van de skirts
3. Vlak maken ondergrond en
werkvloer
4. Aanbrengen vloerwapening
5. Aanbrengen vloerbekisting
6. Storten van de vloer
7. Plaatsen van de wand-
wapening
8. Plaatsen van de wand-
bekisting
9. Storten van de wanden
10. Plaatsen prefab dekplaten
en dekwapening
11. Storten dek
12. Vullen van het dok
13. Uitvaren

14. Opbouw glijbekisting
15. Glijden van de toren
16. Inbouwen apparatuur
17. Afspannen betonconstructie
18. Wegvaren caisson

RIJN SCHELDE
VEROLME

WINDTURBINES IN ZEE


hydronamic
sliedrecht holland

** tijdplanning betonwerk **

P 324

fig.: 13